

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних робіт
з дисциплін

«МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ»,
«МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ»

*(для студентів 1–4 курсів усіх форм навчання напряму
підготовки Електромеханіка,
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
а також слухачів другої вищої освіти)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2017

Методичні вказівки до практичних робіт з дисциплін «Механічне обладнання рухомого складу», «Механічне обладнання транспортних засобів» (для студентів 1–4 курсів усіх форм навчання напряму підготовки Електромеханіка, спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка а також слухачів другої вищої освіти) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. А. В. Коваленко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 27 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. А. В. Коваленко

Рецензент д-р техн. наук, проф. В. П. Шпачук

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 3 від 18.10.2016 р.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступні зауваження..... | 4 |
| Список умовних скорочень..... | 5 |
| 1 Проектування і розрахунок шворневої балки трамвайного візка..... | 8 |
| 2 Проектування і розрахунок поздовжньої балки мостового візка..... | 14 |
| 3 Проектування і розрахунок осі колісної пари..... | 18 |
| 3.1 Розрахунок осі від дії механічних гальмових пристроїв..... | 20 |
| 3.1.1 Колісно-колодкове гальмо | 21 |
| 3.1.2 Дискове осьове гальмо | 22 |
| 3.1.3 Центральне гальмо | 22 |
| 3.2 Розрахунок осі колісної пари від насадки колеса на вісь..... | 23 |
| 3.3 Оцінка втомленої міцності осі..... | 23 |
| 4 Розрахунок балок мостів тролейбусів..... | 25 |
| Список рекомендованих джерел..... | 27 |

Вступні зауваження

Ці методичні вказівки розроблені для полегшення виконання практичних робіт студентами денної і заочної форм навчання спеціалізацій «Електричні системи і комплекси транспортних засобів», «Електричний транспорт» з дисциплін «Механічне обладнання транспортних засобів», «Механічне обладнання рухомого складу».

При виконанні практичних робіт пропонується проведення розрахунків найбільш важливих елементів механічної частини як рейкового, так і безрейкового РС. До них відносяться: шворнева балка трамвайного візка мостового типу; вісь колісної пари від дії механічних гальмових пристроїв (колісно-колодкове, дискове осьове, центральне гальмо); балка переднього моста двовісного тролейбуса (режим гальмування, в кривій); балка заднього моста двовісного тролейбуса (режим тяги, заносу, гальмування, у кривій).

Для проведення розрахунків необхідно використовувати вихідні параметри, задані викладачем відповідно до варіанта студента або приведені в тексті методичних вказівок.

Виконуючи практичні роботи, треба осмислено застосовувати розрахункові формули і ретельно продумувати висновки й результати. Зовсім не припустиме механічне застосування формул і виконання за ними розрахунків.

Список умовних скорочень

Σ_B – сума всіх вертикальних сил (по осі y)

Σ_T – сума всіх горизонтальних сил (по осі z)

Σ_6 – сума всіх бічних сил (по осі x)

M – момент, що діє у вертикальній площині на елемент РС від усіх бічних сил

$M_{тр}$ – момент тертя в опорі кузова РС трамвая, що діє в горизонтальній площині

$G_{ш6}$ – вага шворневої балки візка трамвайного вагона

$F_{тр}$ – сила тертя в горизонтальній площині в опорі кузова на шворневу балку візка трамвайного вагона

Σ_{1B}, Σ_{2B} – сума усіх вертикальних сил на поздовжні балки мостового візка в точках опори шворневої балки візка

Σ_{1T}, Σ_{2T} – сума всіх горизонтальних сил, прикладених до кронштейнів поздовжніх балок мостового візка, що утримують шворневу балку візка (по осі z)

$G_{п6}$ – вага поздовжньої балки мостового візка

P_1, P_2 – вертикальні сили від ваги тягового електродвигуна (ТЕД), траверси і моменту M , що приходяться на поздовжні балки мостового візка

$P_{ид}$ – сила інерції від ТЕД (по осі z)

G_d – вага ТЕД

$P_{i_{тр}}$ – сила інерції траверси ТЕД (по осі z)

$G_{тр}$ – вага траверси ТЕД

M_1 – момент, що розвивається ТЕД

Y_1, Y_2 – направляючі горизонтальні зусилля, що виникають при вписуванні рейкового РС у криві і прикладені до реборд коліс

T_p – сила, що виникає при гальмуванні рейковим електромагнітним гальмом і прикладена до кронштейнів поздовжніх балок мостового візка (по осі z)

$M_{\sum_B}^{\perp}$ – момент, що скручує поздовжню балку мостового візка і викликаний нецентрованим прикладенням вертикальної сили Σ_B

$\Sigma_{1B}^o, \Sigma_{2B}^o$ – суми усіх вертикальних сил, прикладених до шийок осі колісної пари (по буксах)

$\Sigma_{1T}^o, \Sigma_{2T}^o$ – суми всіх горизонтальних сил, прикладених до шийок осі колісної пари (по осі z)

Σ_6^o – сума всіх бічних сил, приведених до осі колісної пари (по осі x)
 G^o – вага осі колісної пари
 $G_{1\text{кп}}$ – вага, що припадає на одну колісну пару
 P_i^o – сила інерції колісної пари (по осі z)
 P_i – осьове зусилля на зубчастому колесі
 P_p – радіальне зусилля від зубчастого колеса
 P_3 – сила в зубчастому зачепленні
 $M_{3\text{к}}$ – момент, створюваний зубчастим колесом
 M_T – момент тертя (на осі гальма)
 M_T^o – момент тертя на осі колісній парі
 $\Sigma_{1\text{в}}^{\text{пм}}, \Sigma_{2\text{в}}^{\text{пм}}$ – суми усіх вертикальних сил, що діють на передній міст тролейбуса і прикладені у місцях опори кузова на балку моста
 $\Sigma_6^{\text{пм}}$ – сума всіх бічних горизонтальних сил, що діють на передній міст тролейбуса і прикладені у місцях опори кузова на балку моста (по осі x)
 $G_{\text{пм}}$ – вага балки переднього моста
 $\Sigma_r^{\text{пм}}$ – сума всіх горизонтальних сил, що діють уздовж осі тролейбуса і прикладені у місцях опори кузова на балку моста (по осі z)
 $P_i^{\text{пм}}$ – сила інерції (у горизонтальній площині) балки переднього моста (по осі z)
 T – гальмова сила на ободі колеса (по осі z)
 $B_{3\text{ч}}$ – сила зчеплення
 $\Sigma_{1\text{в}}^{\text{зм}}, \Sigma_{2\text{в}}^{\text{зм}}$ – суми усіх вертикальних сил, що діють на картер заднього моста тролейбуса і прикладені у точках опори кузова на картер
 $\Sigma_r^{\text{зм}}$ – сума всіх горизонтальних сил у точках опори кузова на картер заднього моста тролейбуса (по осі z)
 $\Sigma_6^{\text{зм}}$ – сума бічних сил, приведених до картера заднього моста (по осі x)
 $G_{3\text{м}}$ – вага картера заднього моста
 $P_i^{\text{зм}}$ – сила інерції картера заднього моста (по осі z)
 Ψ – коефіцієнт зчеплення
 i – передаточне число редуктора тягової передачі
 ϕ – коефіцієнт тертя між гальмовою накладкою і барабаном (бандажем, диском)

f – коефіцієнт тертя ковзання між башмаком електромагнітного рейкового гальма і рейкою

R_{y1}, R_{y2} – вертикальні реакції в опорах

R_{x1}, R_{x2} – горизонтальні реакції в опорах по осі x (поперек РС)

R_{z1}, R_{z2} – горизонтальні реакції в опорах по осі z (по подовжній осі РС)

Q_{cp} – перерізуючи сила

x, y, z – вісі орієнтації

x, z – вісі поперек і уздовж екіпажа відповідно

y – вертикальна вісь

u_{Π} – відстань від сили Σ_6 до нейтральної осі шворневої балки мостового візка

l_1 – відстань між опорами шворневої балки мостового візка

B_T – база візка

u_{z1} – відстань від нейтральної осі поздовжньої балки мостового візка до реакцій

R_{z1}, R_{z2}

u_{pr} – відстань від нейтральної осі поздовжньої балки мостового візка до сили T_p

u_{Σ_r} – відстань від нейтральної осі поздовжньої балки мостового візка до

сили Σ_r

x_{Σ_n} – відстань від нейтральної осі поздовжньої балки мостового візка до

сили Σ_n

$\Sigma_{p_1}, \Sigma_{p_2}$ – відстані між силами P_1, P_2 і серединою поздовжньої балки мостового візка ($z_{p_1} = z_{p_2}$)

l_2 – відстань між буксами

S – відстань між колами котіння коліс колісної пари

K – відстань між колісьми тролейбуса (по осі x)

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – геометричні розміри по осі x

r_k, D_k – радіус, діаметр колеса

r_n – точка прикладення сили тертя на дисковому гальмі

r_6 – радіус гальмового барабана

r_{3k} – радіус зубчастого колеса в зачепленні.

1 Проектування і розрахунок шворневої балки трамвайного візка

Шворневу балку трамвайного візка розраховують на міцність і втому. Розрахунок ведуть при найбільш несприятливому сполученні навантажень, тобто при найбільш важкому режимі експлуатації (максимальне гальмування на криволінійній ділянці шляху під ухил і впливі на кузов вітрового бічного навантаження). Рекомендується розраховувати шворневу балку першого за ходом візка. Використовують метод розрахунку, при якому всі навантаження, що впливають на шворневу балку, враховують диференційовано. У заданому розрахунковому режимі* такими навантаженнями є:

- 1) вертикальні навантаження від статичних сил (вагові навантаження);
- 2) вертикальні додаткові навантаження, викликані вертикальною динамікою вагона;
- 3) вертикальні додаткові навантаження, викликані силою інерції при гальмуванні (розгоні) вагона;
- 4) додаткові навантаження, викликані бічними силами (відцентрової і силою бічного вітру), нахилом кузова у бік;
- 5) вертикальні додаткові навантаження, викликані позовжнім ухилом шляху;
- 6) горизонтальні навантаження, викликані силами інерції уздовж вагона;
- 7) горизонтальні навантаження, викликані бічними силами;
- 8) момент тертя у п'ятниковому опорному пристрої (визначення цього моменту дано наприкінці даного розділу, формула (10)).

Після визначення розглянутих вище навантажень можна одержати сумарні розрахункові навантаження, знайти відповідні реакції в опорах і побудувати епюри моментів і сил. Епюри й особливості обираної конструкції дозволяють намітити небезпечні перерізи шворневої балки і визначити виникаючі в них напруги.

*У курсовій роботі може бути заданий спеціальний розрахунковий режим.

Розрахункові схеми шворневих балок (при опорі кузова в центрі і по краях) показані на рисунках 1–4.

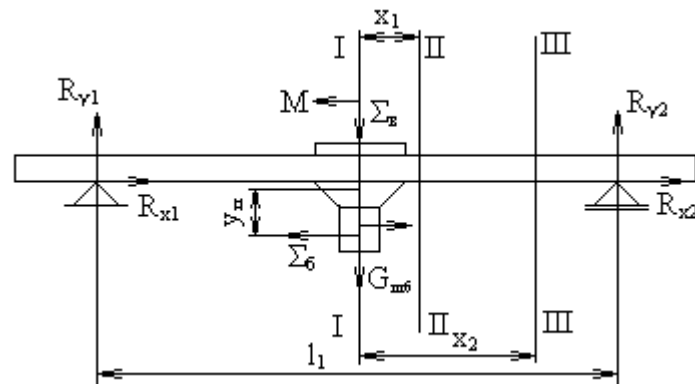


Рисунок 1 – Схема навантаження шворневої балки візка у вертикальній площині (опора кузова в центрі)

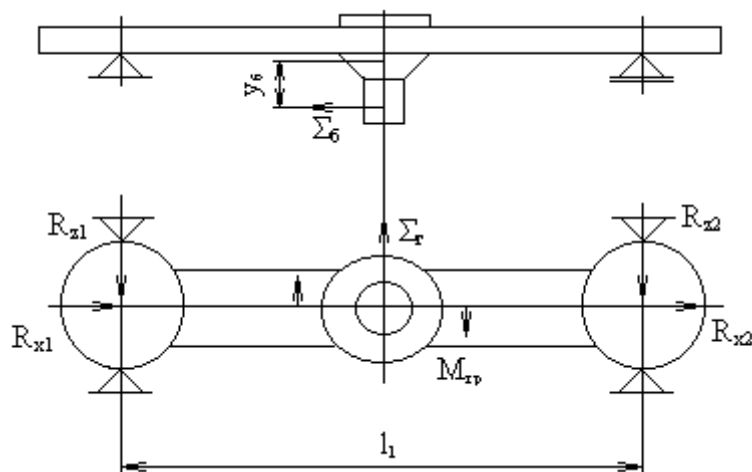


Рисунок 2 – Схема навантаження шворневої балки візка в горизонтальній площині (опора кузова в центрі)

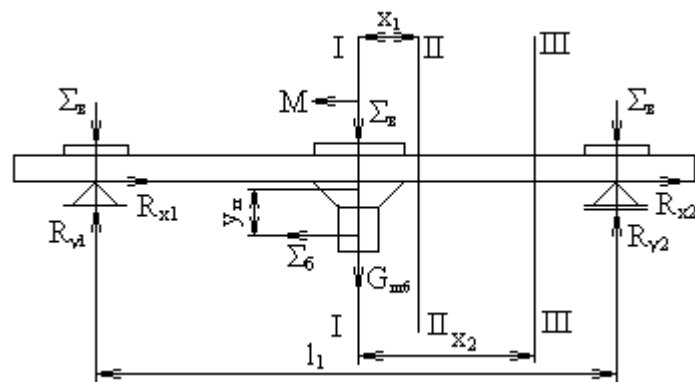


Рисунок 3 – Схема навантаження шворневої балки візка у вертикальній площині (опора кузова по краях балки)

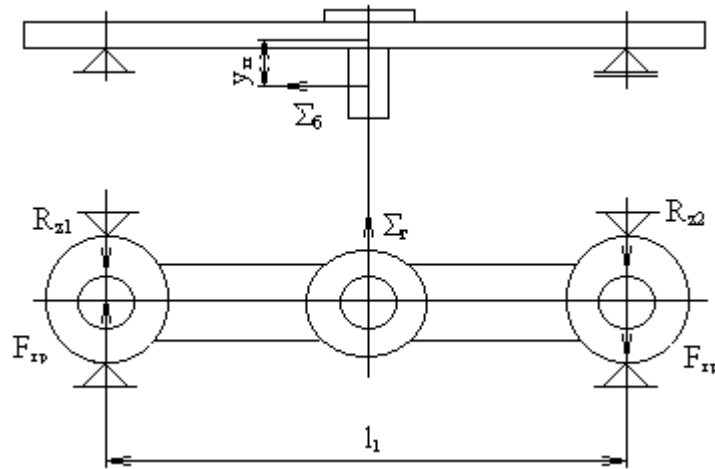


Рисунок 4 – Схема навантаження шворневої балки візка в горизонтальній площині (опора кузова по краях балки)

Напруження вигину у вертикальній і горизонтальній площинах і дотичні напруження (від скручування) підраховують відповідно за формулами:

$$\sigma_B = \frac{M_B}{W_B}; \quad (1)$$

$$\sigma_r = \frac{M_r}{W_r}; \quad (2)$$

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{кр}}. \quad (3)$$

Тут W_B, W_r і $W_{кр}$ – моменти опору розрахункових перерізів вигину у вертикальній, горизонтальній площинах і крутінні відповідно (надалі вони позначені відповідно обраним головним осям перерізу x_0 і y_0 , тобто W_{x_0} і W_{y_0}).

Розрахункові перерізи шворневих балок звичайно мають замкнуту форму (див. рис. 5). Розрахунок таких перерізів зручно проводити табличним способом щодо вертикальної і горизонтальної осей, розбиваючи перерізи на окремі прості геометричні фігури. Як приклад підрахунок перерізу показаний (див. рис. 5) у таблиці 1 (переріз, симетричний щодо осей x_0 і y_0).

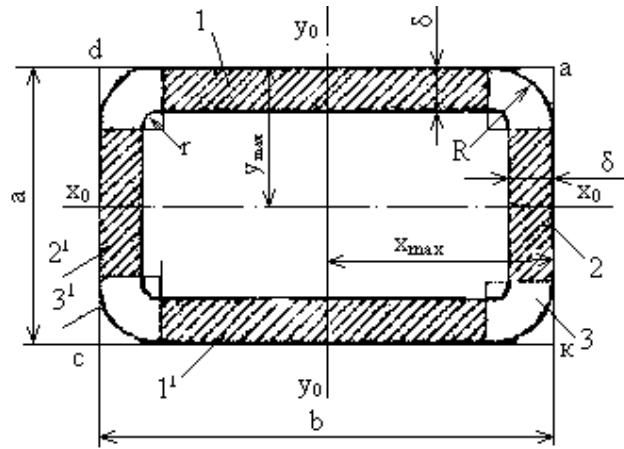


Рисунок 5 – Переріз шворневої балки візка трамвайного вагону замкнутої прямокутної форми

Відомо [1], що момент інерції розглянутих елементів щодо обраних осей x_0 і y_0 дорівнює

$$J_{x_0} = J_{x_{o1}} + F_i \cdot y_i^2; \quad J_{y_0} = J_{y_{o1}} + F_i \cdot x_i^2. \quad (4)$$

Склавши у таблицю 1 отримані значення для $J_{x_{o1}}$ і $F_i \cdot y_i^2$, одержуємо момент інерції всього перерізу. Розділивши момент інерції на координату до точки перерізу, що розглядається, щодо головних осей, одержимо:

$$W_{x_0} = \frac{J_x}{y_{\max}} \quad (5)$$

Аналогічно підраховують момент інерції щодо осі y_0

$$W_{y_0} = \frac{J_x}{x_{\max}} \quad (6)$$

Оскільки шворнева балка працює на вигин у двох площинах, то найбільші напруження зазнають волокна на гранях, тобто в точках а,б,с, (див. рис. 5). Тому напруження в кожній з цих точок буде

$$\sigma = \sigma_y + \sigma_r = \frac{M_B}{W_{x_0}} + \frac{M_r}{W_{y_0}}. \quad (7)$$

Таблиця 1 – Приклад розрахунку на міцність перерізу шворневої балки

| Но- мер еле- мен- та | Формула для нахо- дження площини f_i елемента | Площи- на еле- мента в цифрах | Результат підраху- нку F_i , см^2 | Формула для знаходження координат y_i центру тя- жіння еле- мента | Цифро- ве зна- чення y_i | Підраху- нок $F_i \cdot y_i$ | Підрахунок моментів інерції еле- ментів $F_i \cdot y_i^2$ | Формула для зна- ходження момен- тів інерції J еле- ментів симетрич- них відносно осі $x_o - y_o$ | Цифро- вий вираз J_{xoi} | Резуль- тат під- рахунку J_{xoi} |
|--|---|--|---|--|----------------------------------|---------------------------------|--|--|----------------------------------|---|
| | | | см^2 | | см | см^3 | см^4 | | | см^4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1,1' | $2 \cdot (b - 2R) \cdot \delta$ | | | $a/2 - \delta/2$ | | | | $(b - 2R) \cdot \delta^3/12$ | | |
| 2,2' | $2 \cdot (a - 2R) \cdot \delta$ | | | 0 | | 0 | 0 | $\delta \cdot (a - 2R)^3/12$ | | |
| 3,3' | $\pi \cdot (R^2 - r^2)$ | | | $a/2 - \delta/2^*$ | | | | $1/4 \cdot \pi/256 \cdot (R^3 - r^3)$ | | |
| * формула наближена | | | | | | $\Sigma F_i \cdot y_i^2$ | | | | |
| | | | | | | ΣJ_{xoi} | | | | |
| $J_{x_o} = \Sigma F_i \cdot y_i^2 + \Sigma J_{xoi} ; \quad W_{x_o} = (\Sigma F_i \cdot y_i^2 + \Sigma J_{xoi}) / y_{\max}$ | | | | | | | | | | |

Для оцінки міцності балки розрахункові напруження порівнюють з допустимими. При відливці із сталі 25Л чи 35Л і деформаціях розтягу, стиску, вигину $[\sigma] = 130 \div 140$ МПа, а для матеріалу зварених швів $[\sigma] = 155$ МПа, $[\tau] = 95$ МПа.

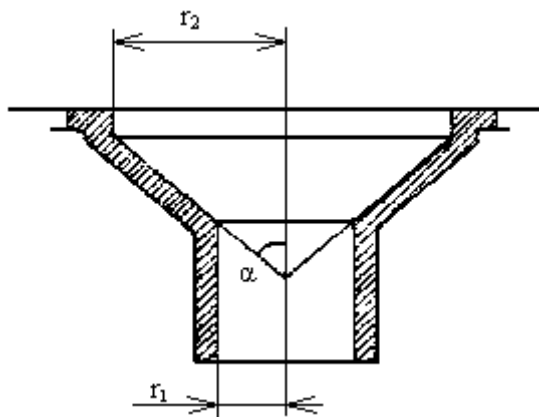


Рисунок 6 – Схема підп'ятника

Для шворневих балок мостових двовісних візків центральна частина балки виконана у вигляді підп'ятника з опорною конічною поверхнею (рис. 6). При повороті візка в горизонтальній площині виникає момент тертя (див. рис. 2), що визначається так:

$$M_{\text{тр}} = \frac{2f \cdot \Sigma_v \cdot (r_2^3 - r_1^3)}{3(r_2^2 - r_1^2) \cdot \sin \alpha}, \quad (8)$$

де f – коефіцієнт тертя-ковзання, який можна приймати рівним 0,15;

r_2, r_1 – радіуси верхньої і нижньої частин конуса підп'ятника відповідно;

α – кут між напрямком вертикальної сили й напрямляючої підп'ятника.

Після розрахунку на статичну міцність роблять оцінку втомленої міцності шворневої балки за методикою, викладеною в [2].

2 Проектування і розрахунок поздовжньої балки мостового візка

Поздовжні балки мостового візка трамвайних вагонів розраховують на міцність і втому аналогічно розрахунку шворневої балки. На поздовжні балки спирається через пружні елементи підвіски і кронштейни шворнева балка. Тому визначення навантажень на поздовжні балки можна починати із знаходження всіх навантажень на шворневу балку. Крім цього необхідно врахувати такі навантаження:

- 1) вертикальні навантаження від ваги тягового електродвигуна (ТЕД), його траверси і моменту на осі ТЕД;
- 2) направляючі горизонтальні сили, що з'являються при вписуванні в криву;
- 3) сили тертя між рейкою і рейковим електромагнітним башмаком;
- 4) гальмові сили на ободі коліс.

На рисунку 7 показана загальна схема сил, що діють на мостовий двовісний візок, а на рисунку 8 – схема сил, що діють на поздовжню балку.

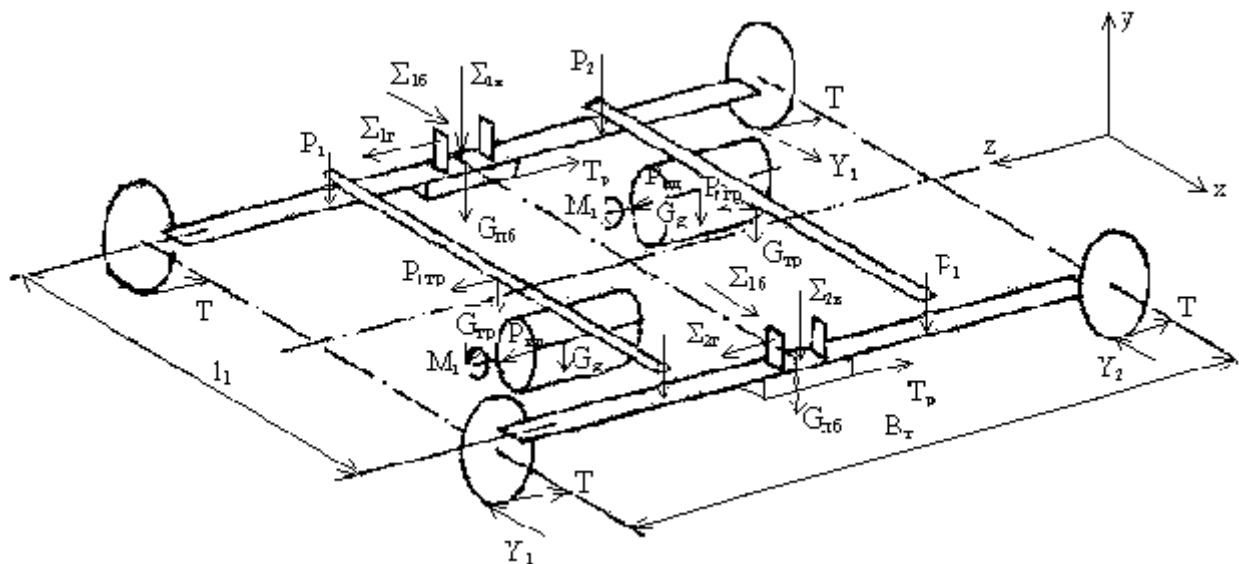


Рисунок 7 – Загальна схема сил, що діють на мостовий двовісний візок

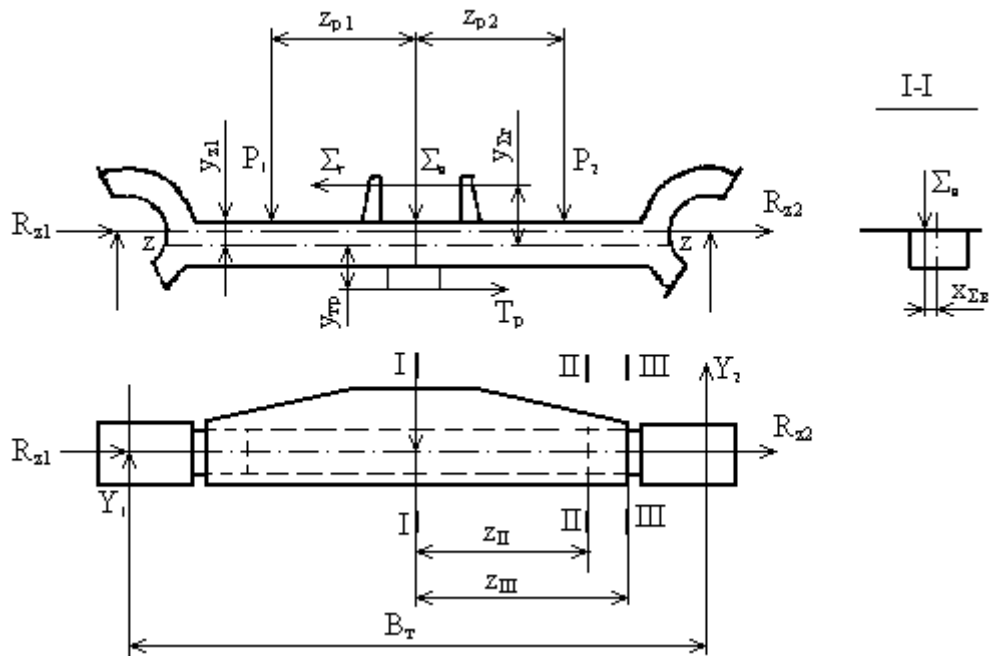


Рисунок 8 – Загальна схема сил, що діють на поздовжню балку мостового візка

Вагу ТЕД і траверси вибирають відповідно до конструкції, орієнтовно можна приймати в межах $G_g = 450\text{--}500$ кг, $G_{тр} = 80\text{--}90$ кг.

Момент, що розвивається ТЕД у розрахунковому режимі, з достатньою точністю можна визначити виходячи з того, що сили тяги і гальмування не можуть перевищувати сил зчеплення. Тому прийнявши коефіцієнт зчеплення рівним 0,3 і визначивши вертикальне навантаження від ваги вагона при максимальному наповненні на одну колісну пару, знаходимо силу тяги чи гальмування:

$$T = G_{\text{кп}} \cdot \psi, \quad (9)$$

а по радіусу колеса і передаточному числу редуктора розраховуємо:

$$M_1 = \frac{T \cdot r_k}{i}. \quad (10)$$

Сили P_1 і P_2 визначаємо за схемою рисунок 9. Оскільки сили P_1 і P_2 відповідно дорівнюють реакціям R_1 і R_2 , то

$$R_1 = P_1 = \frac{M_1 + G_g \cdot l_3 + G_{тр} \cdot (l_2 - l_1)}{l_2} \quad (11)$$

$$R_2 = P_2 = G_g + G_{тр} - R_1. \quad (12)$$

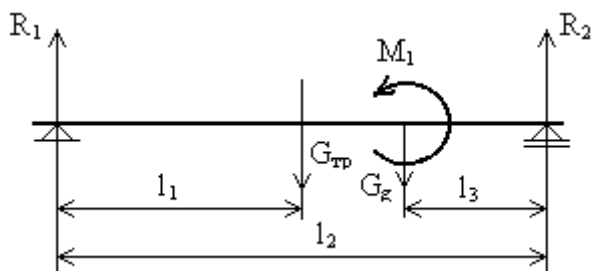


Рисунок 9 – Навантаження траверси ТЕД

Вагу електромагнітних башмаків рейкового гальма в розрахунках приймаємо рівним $180 \div 200$ кг, а зусилля на стиски башмака гальма на рейку – $P_n = 5200$ кг.

Зусилля тертя під час екстреного гальмування розраховуємо при коефіцієнті тертя–ковзання $f = 0,4$:

$$T_p = P_n \cdot f. \quad (13)$$

Направляючі горизонтальні зусилля y_1 і y_2 визначаємо за методикою, викладеною в [2], [3].

Розрахункова схема поздовжньої білки мостового візка показана на рисунку 10. Найбільш небезпечними вважаються перерізи в центральній частині балки й у місцях вварювання лапи.

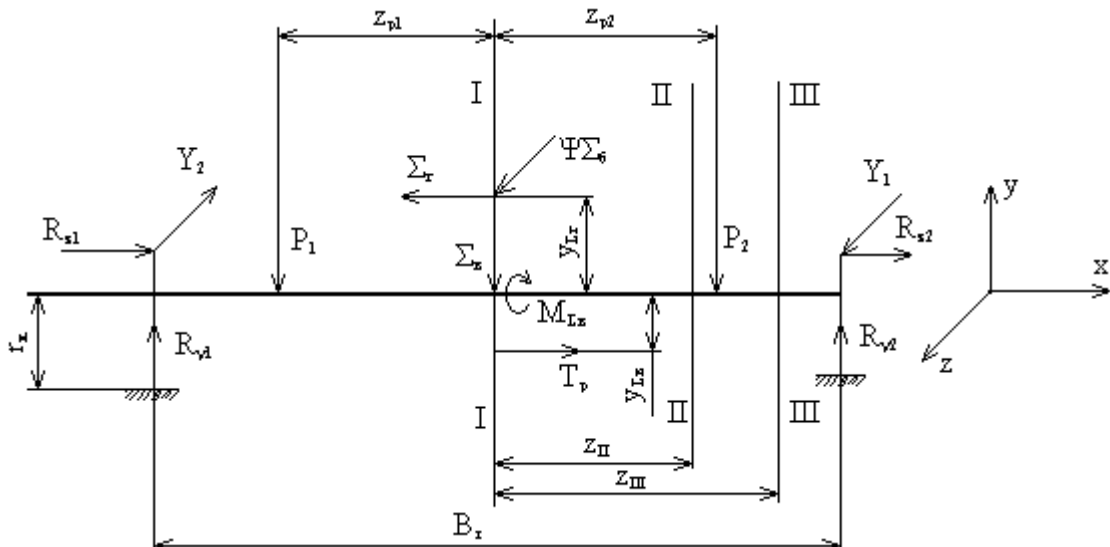


Рисунок 10 – Розрахункова схема поздовжньої балки мостового візка
(I, II, III – розрахункові перерізи)

Матеріалом, з якого виготовлені поздовжні балки, звичайно є сталь Ст. 5, сталь 30, з допустимими напруженнями, $[\sigma_i] = 165$ МПа, $[\tau] = 100$ МПа; у випадку виконання балки зі сталі Ст. 3 і сталі 20 $[\sigma_i] = 155$ МПа, $[\tau] = 95$ МПа.

3 Проектування і розрахунок осі колісної пари

Осі колісних пар трамвайних вагонів розраховують на міцність і втому.

Навантаження осі колісної пари відбувається з'єднанням усіх навантажень, зазначених у розділах 1 і 2. Крім того, на вісь впливають:

- 1) навантаження від роботи механічних гальмових пристроїв;
- 2) навантаження від роботи зубчастого зачеплення тягової передачі;
- 3) навантаження, викликані посадкою маточин коліс.

На сучасних трамвайних вагонах, що експлуатуються в Україні, застосовують суцільні осі. Великий інтерес становлять конструкція і розрахунок порожніх осей.

На рисунках 11, 12 показані розрахункові схеми осей колісних пар із зовнішніми і внутрішніми буксами. Принципово розрахунок таких осей не відрізняється, змінюються лише точки прикладення навантажень.

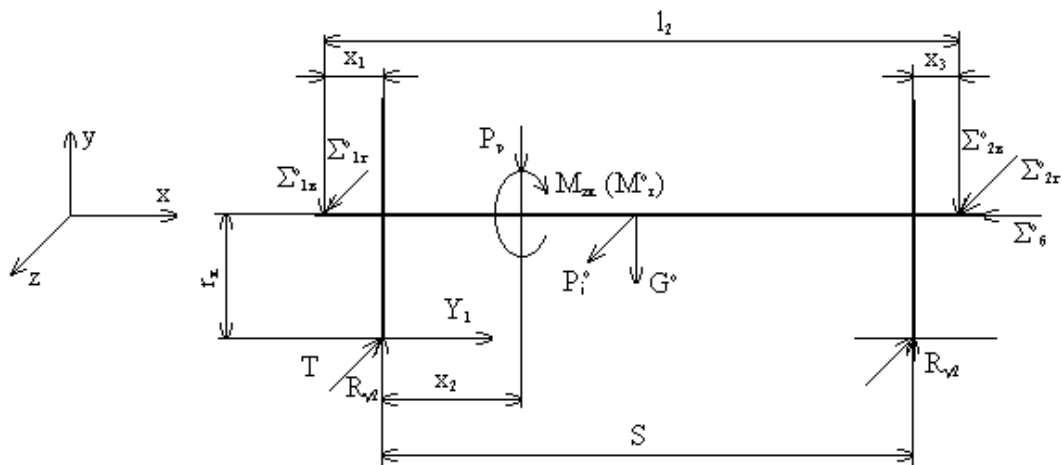


Рисунок 11 – Розрахункова схема осі колісної пари з зовнішніми буксами

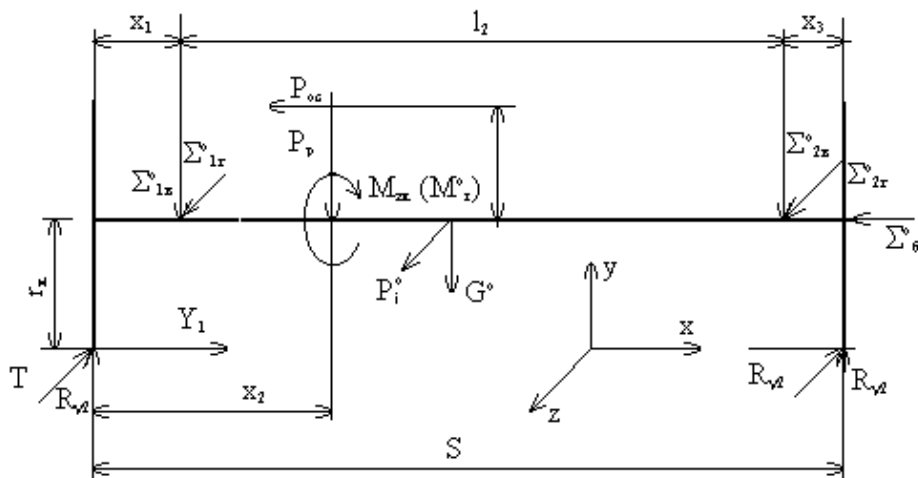


Рисунок 12 – Розрахункова схема осі колісної пари з внутрішніми буксами

Визначення основних вертикальних і горизонтальних навантажень розглянуто в [2] і в попередніх розділах.

Під дією системи сил вісь зазнає поперечного вигину у двох взаємно перпендикулярних площинах і крутіння. Для проектованої осі знаходять мінімально припустимі діаметри шийки, підматочиної, запідматочиної і середньої частин за формулою

$$d_i = \sqrt{\frac{32M_{ei}}{\pi \cdot [\sigma_i]}}, \quad (14)$$

де $[\sigma_i]$ – допустимі напруження, у зазначених частинах осі;

$M_{ei} = \sqrt{M_{vi}^2 + M_{gi}^2 + 0,75M_{kpi}^2}$ – еквівалентний момент у і-му перерізі;

M_{vi} – момент, що згинає і-й переріз у вертикальній площині;

M_{gi} – момент, що згинає і-й переріз у горизонтальній площині;

M_{kpi} – момент, що крутить у і-му перерізі.

Для визначення допустимих напружень можна користатися табл. 2 (для моторних вагонів).

Таблиця 2 – Допустимі напруження різних перерізах осі

| [σ_i], МПа | | | |
|---------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|
| У шийці осі | У підматочиній частині | У запідматочиній частині | У середній частині |
| 120 | 140 | 140 | 130 |

Після диференційованого визначення напружень σ_y , σ_r і τ у перерізах визначають сумарні напруження і порівнюють із тими, що допускаються, перевіряють вісь на втому.

Нижче наведені розрахунки специфічних для осі навантажень.

3.1 Розрахунок осі від дії механічних гальмових пристроїв

3.1.1 Колісно-колодкове гальмо

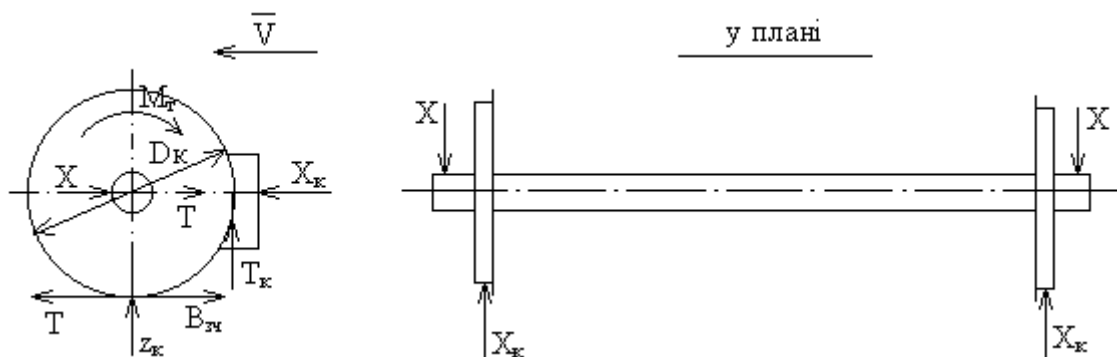


Рисунок 13 – Розрахункова схема при колісно-колодковому гальмі

Для колісно-колодкового гальма з однобічним натисканням гальмових колодок на бандах колеса схема дії сил подана на рисунку 13 (сила X_k спрямована горизонтально по осі симетрії, що не зовсім точно; визначення навантажень при несиметричному прикладенні сил натискання колодок див. [4]). Вісь колісної пари піддається впливу згинального моменту в горизонтальній площині від сили X_k і T . У даному випадку максимальна гальмова сила дорівнює силі зчеплення ($T_k = B_{зч}$), і можна записати:

$$T = T_k = B_{зч} = G_{л\kappa\pi} \cdot \psi. \quad (15)$$

З іншого боку, $T_k = X_k \cdot \phi$, де ϕ – коефіцієнт тертя між колодкою і поверхнею бандажа. У такий спосіб сила натискання

$$X_k = \frac{G_{л\kappa\pi} \cdot \Psi}{\phi} \quad (16)$$

У розрахунку коефіцієнт тертя ϕ для чавунних колодок може бути прийнятий 0,2; для пластмасових колодок – 0,28, а коефіцієнт зчеплення $\psi = 0,3$.

3.1.2 Дискове осьове гальмо

Для дискового осьового гальма з двостороннім натисканням гальмових колодок схема дії сил показана на рисунку 14.

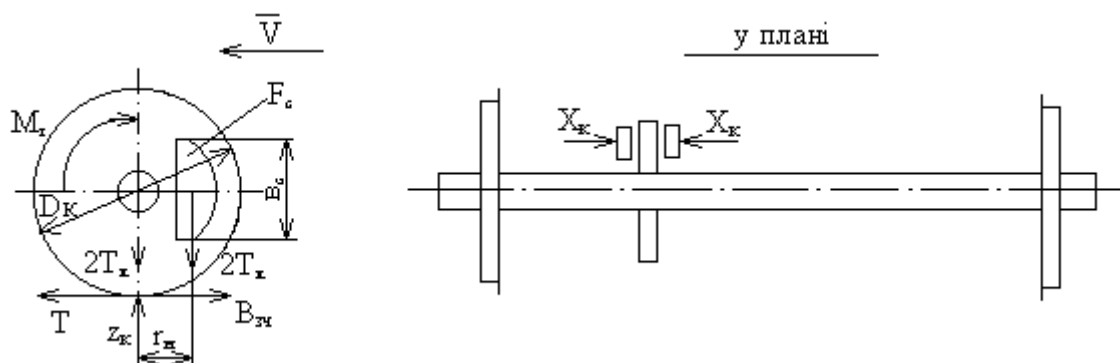


Рисунок 14 – Розрахункова схема при дисковому осьовому гальмі

Вісь колісної пари піддається деформаціям вигину у вертикальній площині від сили T_k , деформаціям вигину в горизонтальній площині від сили T і крутінню моментом $M_{кр}$. Силу тертя визначаємо за формулою

$$2T_k = \frac{B_{зч} \cdot D_k}{r_n} \quad (17)$$

Тут $r_n = v_c^{3/12} F_c$, F_c – площа сегмента (звичайно таку форму мають гальмові накладки). Момент тертя (гальмовий момент)

$$M_T = 2T_k \cdot r_n = B_{зч} \cdot D_k = G_{лп} \cdot \psi \cdot D_k. \quad (18)$$

Гальмову силу визначаємо за формулою (15).

3.1.3 Центральне гальмо

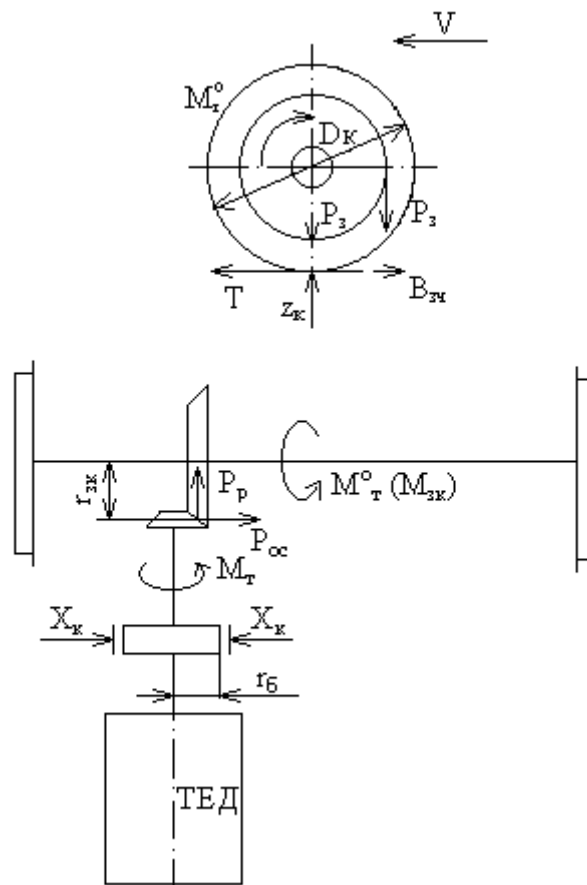


Рисунок 15 – Розрахункова схема при центральному гальмі

У випадку центрального гальма (див. рис. 15) гальмовий момент через редуктор тягової передачі передається на колісну пару і викликає відповідні дефор-

мації осі. Вісь колісної пари згинається силою P_3 у вертикальній площині, P_p – у горизонтальній площині і скручується моментом M_t^o . Для розрахунку можна використовувати формулу:

$$M_t^o = M_{\Gamma} \cdot i. \quad (19)$$

З умови реалізації максимальної сили зчеплення

$$T = B_{зч} = G_{1кп} \cdot \psi;$$

$$M_t^o = G_{1кп} \cdot \psi \cdot r_k; \quad (20)$$

$$M_t^o = P_3 \cdot r_{зк}; \quad (21)$$

$$P_3 = \frac{G_{1кп} \cdot \psi \cdot r_k}{r_{зк}}. \quad (22)$$

Сили P_{oc} і P_p визначають відповідно до конструкції зубчастого зачеплення.

3.2 Розрахунок осі колісної пари від насадки колеса на вісь

Вісь колісної пари зазнає дію постійних сил, що виникають у результаті пресої посадки маточини колеса. Ці сили діють по поверхні контакту маточини з підматочиною частиною осі. Найбільше нормальне напруження в осі, що діє по краях маточини (у цих місцях необхідно враховувати розглянуті напруження) відповідно до [4]:

$$\sigma_{x \max} = 0,28 \cdot P_{\max}$$

Приймаючи за [4] відношення $P_{\max}/E\delta_o = 0,4$, можна записати

$$\sigma_{x \max} = 0,28 \cdot 0,4 \cdot \delta_o, \quad (23)$$

де P_{\max} – максимальний питомий тиск, кг/см^2 ;

$E = 2,1 \cdot 10^6$ – модуль пружності для сталі, кг/см^2 ;

$\delta_o = \Delta_o/d_2$ – відносний натяг;

$\Delta_o = 0,1-0,25$ – натяг, мм (залежить від конструкції осі) [3];

d_2 – діаметр осі в підматочиній частині, мм.

3.3 Оцінка втовленої міцності осі

Для розрахунку осі на втому використана методика, викладена в [3]. За таблицею 3.1 знаходимо межу втоми нормальних зразків (для сталі осі):

$$[\sigma_{-1}]_o = 210 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнти концентрацій напружень при вигині визначають за залежностями, приведеними на рисунках 3.2–3.5 [3].

Значення $(k_\delta)_{02}$ знаходять за відношенням радіуса гантелі до діаметра шийки осі в передпідматочинному переході до підматочинового, а за відношенням діаметрів передпідматочинової частини і шийки осі визначають v_δ .

Для осей сучасних трамвайних вагонів $(k_\delta)_{02} = 1,1$, $v_\delta = 0,3$.

Коефіцієнт концентрації напружень зразка

$$(k_\delta)_o = 1 + v_\delta \cdot [(k_\delta)_{02} - 1]. \quad (24)$$

Масштабні фактори будуть мати значення

$$\epsilon_{ок} = 0,64, \quad \epsilon_o = 0,9, \quad \epsilon_{дк} = 0,72,$$

а коефіцієнт, що характеризує вплив чистоти поверхні на концентрацію напруг, $\Delta = 0,1$.

Визначаємо коефіцієнт концентрації напружень при вигині:

$$(k_\delta)_д = (k_\delta)_o \cdot \epsilon_{ок} \cdot (1 + \Delta) / \epsilon_o \epsilon_{дк}. \quad (25)$$

Межа втоми осі при вигині матиме значення

$$[\sigma_{-1}]_д = [\sigma_{-1}]_o / (k_\delta)_д \quad (26)$$

Запас втоми при вигині

$$n_\sigma = [\sigma_{-1}]_д / \sigma_p \geq [n]. \quad (27)$$

Отримане значення n_σ повинно бути більше або дорівнювати допустимому значенню $[n] = 2,0$ [6].

4 Розрахунок балок мостів тролейбуса

Розрахунок балки переднього моста і картера заднього моста тролейбуса проводять у таких режимах: гальмування і занос – для переднього моста і тяга, гальмування, занос – для заднього моста.

Основи розрахунку зазначених балок на міцність докладно викладені в [3], [5], а методика визначення навантажень у [2].

Основні розрахункові схеми навантажень на мости двохвісного тролейбуса показані на рисунках 16, 17 і 18.

Балки передніх мостів тролейбусів виготовляють із середньовуглецевих сталей (кування, загартування, відпуск), наприклад, із сталі 30x45, для якої $[\sigma_i] = 160 \text{ МПа}$.

Картер заднього моста звичайно роблять з литої сталі з допустимим напруженням $[\sigma_i] = 140 \text{ МПа}$, а кожухи півосей із сталей, для яких $[\sigma_i] = 160 \text{ МПа}$.

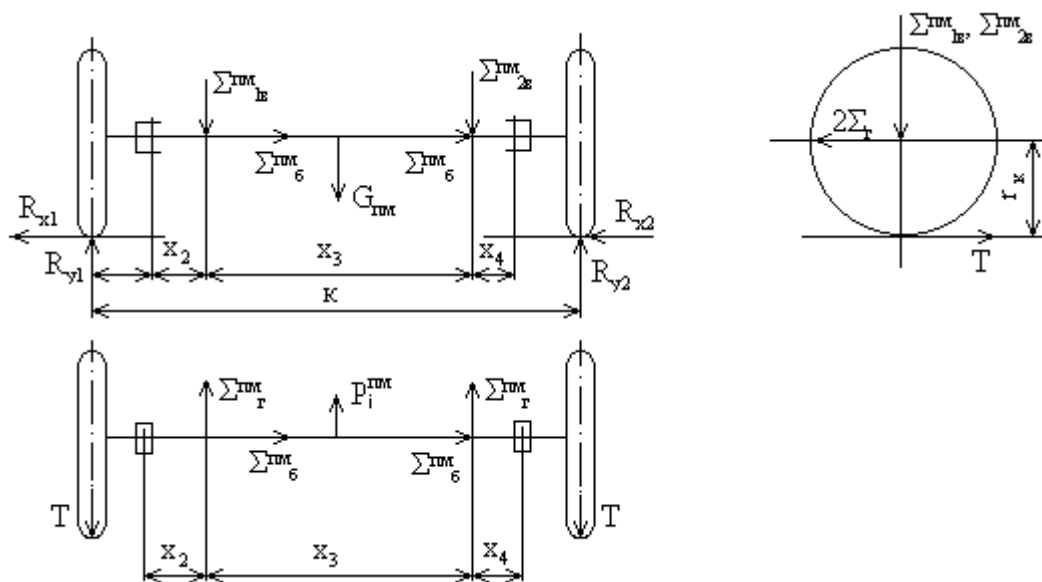


Рисунок 16 – Розрахункова схема балки переднього моста двохвісного тролейбуса (режим гальмування у кривій)

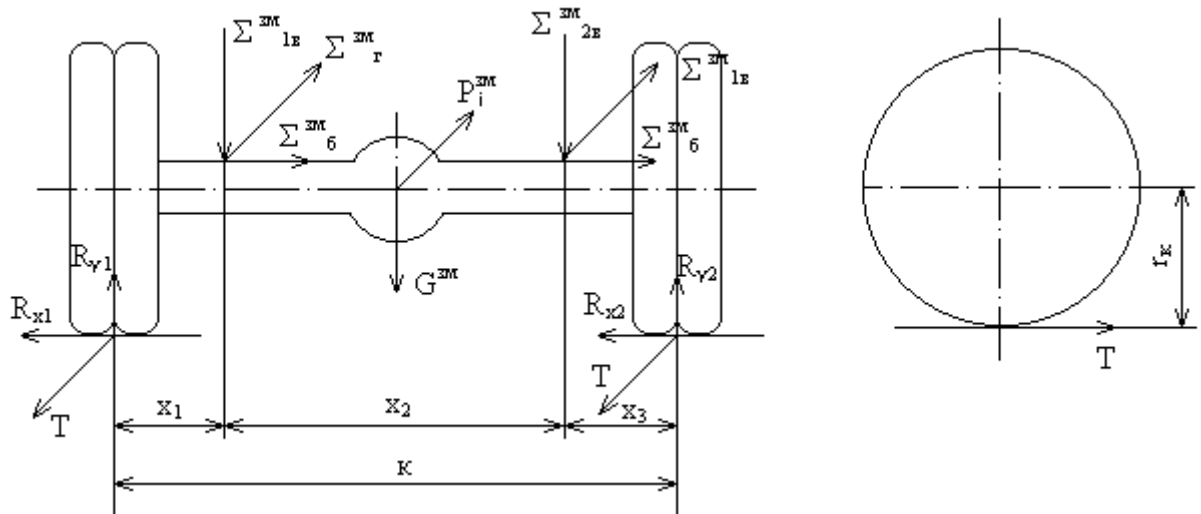


Рисунок 17 – Розрахункова схема картера заднього моста двовісного тролейбуса (режим тяги, гальмування, у кривій)

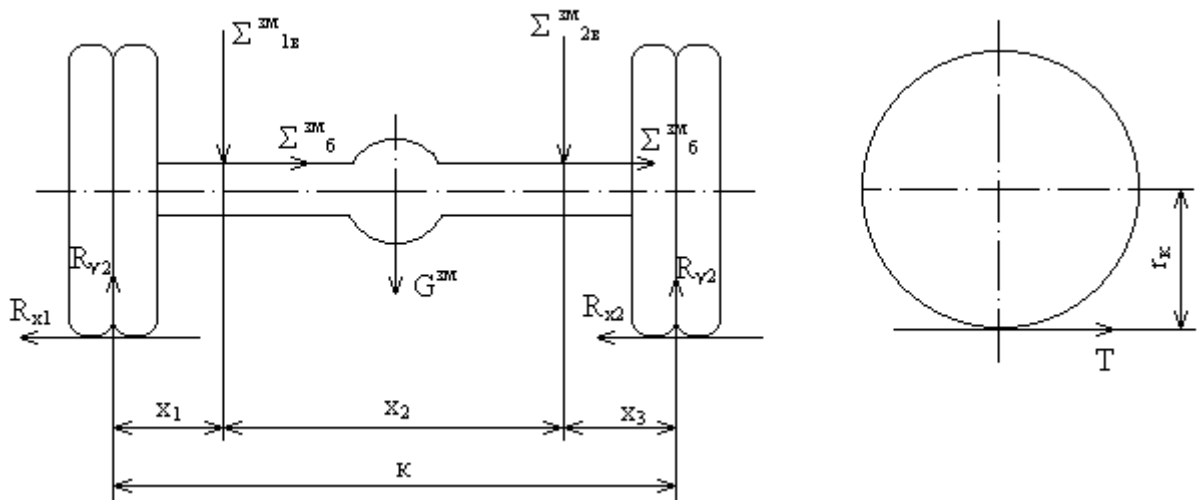


Рисунок 18 – Розрахункова схема картера заднього моста двовісного тролейбуса (режим заносу)

Список рекомендованих джерел

1. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. / Н. М. Беляев. – М. : Наука, 1965. – 856 с.
2. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисциплін «Механічне обладнання транспортних засобів», «Механічне обладнання рухомого складу» / А. В. Коваленко, І. Л. Скуріхін; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2012 – 27 с.
3. Ефремов И. С. Теория и расчет механического оборудования подвижного состава городского электрического транспорта. / И. С. Ефремов, Б. П. Гущо-Малков. – М. : Транспорт, 1970. – 480 с.
4. Шадур Л. А. Расчет вагонов на прочность. / Л. А. Шадур. – М. : Машиностроение, 1971. – 432 с.
5. Ефремов И. С. Проектирование и расчет механического оборудования троллейбусов. / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев. – М. : МЭИ, 1964. – 239 с.
6. Нормы для расчетов на прочность при проектировании механической части вагонов электропоездов пригородного сообщения железных дорог МПС колеи 1520 мм. – М. : ВНИИВ: ВНИИЖТ, 1985. – 132 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних робіт
з дисциплін

**«МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ»,
«МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ»**

*(для студентів 1–4 курсів усіх форм навчання напряму
підготовки Електромеханіка,
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
а також слухачів другої вищої освіти)*

Укладач **КОВАЛЕНКО** Андрій Віталійович

Відповідальний за випуск *Я. В. Щербак*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарової*

План 2017 поз. 143 М

Підп. до друку 04.04.2017 р.
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60x84 /16
Ум. друк. арк. 1,0
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.